

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР РАБОЧИХ ТЕЛ ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БАЗЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

OPTIMAL SELECTION OF WORKING FLUIDS FOR ORGANIC RANKINE CYCLE POWER PLANTS

Крупин Д. Ф.

Вятский государственный университет, г. Киров, kdf90@mail.ru

Krupin D. F.

Vyatka State University, Kirov

Аннотация: В статье представлен обзор работ по оптимальному выбору рабочих тел для энергоустановок на базе органического цикла Ренкина. Выделены основные направления существующих исследований возможности использования рабочих тел в энергоустановках на базе органического цикла Ренкина и показаны возможности проведения дальнейших исследований.

Abstract: The aim of this paper is to review of works on optimal selection of working fluids for organic Rankine cycle power plants. Identified the main directions existing of research the possibility of using working fluids for organic Rankine cycle power plants and presented possibilities of future researches.

Ключевые слова: *рабочее тело; органический цикл Ренкина.*

Keywords: *working fluid; organic Rankine cycle.*

Современные тенденции развития распределенной энергетики в Российской Федерации, обусловленные уровнем научно-технического прогресса, экономической ситуацией и особенностями заселения территории страны, ставят вопросы по преобразованию энергоресурсов различного потенциала в электрическую энергию и тепловую энергию энергоносителей, как наиболее совершенных и простых в использовании видов энергии.

Зарубежный опыт показывает широкое распространение установок на базе органического цикла Ренкина (ОЦР) для решения задач преобразования низкопотенциальных энергоресурсов в электрическую энергию. Наиболее распространенными в данной сфере являются производители установок на базе ОЦР из Германии (Maxxtec, GMK), Италии (Turboden), США (Ormat) и других стран. Технологии данных производителей ориентированы на использование в качестве источников в основном альтернативных видов энергии [1]. Особенности ведения хозяйственной деятельности, климатические условия и уровень развития энергетики нашей страны ориентируют на возможности

использования данных установок в низкопотенциальной части систем энергоснабжения.

Разнообразие возможностей применения установок на базе ОЦР обусловлено выбором рабочего тела для источников энергии различного потенциала. Эффективность использования ОЦР модулей в большой степени зависит от оптимального выбора рабочего тела. Основными техническими требованиями к рабочему телу в установках являются [1]:

- Физико-химические показатели:
 - высокая плотность;
 - высокая теплопроводность;
 - низкая вязкость;
 - отсутствие коррозионной активности.
- Термодинамические показатели:
 - низкая температура кипения при давлении не ниже атмосферного;
 - термическая стабильность в области повышенных температур;
 - рабочее тело должно обеспечивать максимальную удельную работу в области рабочих температур.
- Экономические показатели:
 - низкая стоимость;
 - доступность.
- Экологические показатели:
 - рабочее тело должно быть нетоксичным, взрыво- и пожаробезопасным;
 - рабочее тело не должно давать негативных экологических последствий и эффектов.

В 2007 г. в работе [2] проведен анализ 31 фреона, которые можно рассматривать в качестве рабочего тела для установок на базе ОЦР. В работе произведен анализ рабочих тел для ОЦР модуля, работающего в диапазоне температур от 30 °С до 100 °С при давлениях до 20 бар, характерных для геотермальных электростанций. Сравнение проводилось на основании термодинамического анализа по уравнениям состояния рабочих тел. В работе показано, что с точки зрения термодинамического анализа, использование фреонов с нависающей формой линии насыщения выгоднее, чем с куполообразной формой. Авторы данной работы рекомендуют к использованию, в рамках рассматриваемого диапазона температур, несколько фреонов: R236ea, R245ca, R245fa, R600, R600a, R601a, RE134 и RE245.

В работе [3] в 2013 г. был рассмотрен выбор рабочих тел для ОЦР модуля с точки зрения первого и второго законов термодинамики (эксергетического анализа). В данной работе предложено использовать фреоны RE134, RE245, R600, R245fa, R245ca или R601 для геотермальных источников энергии, с температурой 120 °С, для солнечных электростанций с температурным

диапазоном источника 80-160 °С – фреон R227ea, в температурном диапазоне 160-200 °С – фреон CR245fa.

В 2013 г. в работе [4] была приведена классификация фреонов по эффективности использования в качестве рабочих тел для ОЦР модулей при различных температурах источников, в диапазоне от 40 °С до 250 °С. Классификация рабочих тел при различных температурах, позволяющая сделать оптимальный выбор, приведена в таблице.

Классификация фреонов по эффективности использования в качестве рабочих тел для ОЦР модуля при различных температурах источника [3]

40-90 °С	90-120 °С	120-150 °С	150-170 °С	170-190 °С	190-250 °С
R134a R32	R22 R290 R134a R227ea	R152a R124 R236fa	R600a R142b R236ea Изобутан Бутан	R600 R245fa R245ca	R123 R365mfc R601a R601 R141b

Параллельно с исследованиями по выбору оптимального рабочего тела для установок на базе органического цикла Ренкина среди азеотропных рабочих тел развивается направление по исследованию возможностей применения зеотропных многокомпонентных рабочих тел. В работе [5] показаны преимущества данных рабочих тел в случаях, когда наблюдаются значительные перепады температур у источников тепла, например, в случае когенерационной выработки теплоты для целей теплоснабжения. Однако существует ряд проблем, связанных с использованием данных рабочих тел. В основном, проблемы связаны с отсутствием теоретической базы и математических моделей по прогнозированию поведения зеотропных рабочих тел в теплообменном оборудовании и турбоустановках, где процессы связаны с изменением агрегатного состояния рабочего тела. Данные вопросы требуют дальнейшего изучения.

Обзор проведенных работ по оптимальному выбору рабочих тел для ОЦР модулей показал, что рассмотрение использования рабочих тел ограничивается температурным диапазоном 40-250 °С. Данный диапазон характерен в основном для геотермальных и солнечных электростанций. Вопросы использования установок на базе органического цикла Ренкина в качестве утилизационных в системах энергоснабжения, таких как ГТУ-ТЭЦ и др., и оптимальный выбор рабочих тел в данных диапазонах температур остаются открытыми и требуют проведения дополнительных исследований.

Список использованных источников

1. Крупин Д. Ф., Суворов Д. М. Общие вопросы использования установки на базе органического цикла Ренкина // Общество, наука, инновации (НПК-2016): сб. статей. 2-е изд., испр. и доп. Киров : Вятский государственный университет, 2016. С. 1662–1665.

2. Saleh B., Koglbauer G., Wendland M., Fischer J. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles // Energy. 2007. Vol. 32. № 7. P. 1210–1221.
3. Bao J. J.; Zhao L., Zhang W. Z. A novel auto-cascade low-temperature solar Rankine cycle system for power generation // Solar Energy. 2011. Vol. 85. № 11. P. 2710–2719.
4. Wang D., Ling X., Peng H., Liu L., Tao L. Efficiency and optimal performance evaluation of organic Rankine cycle for low grade waste heat power generation // Energy. 2013. Vol. 50. P. 343–352.
5. Angelino G., Colonna di Paliano P. Multicomponent working fluids for organic rankine cycles (ORCs) // Energy. 1998. Vol. 23. № 6. P. 449–463.

УДК 533.6:628.5]:662.997

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЫЛИВАЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗА СЧЕТ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА

DESIGN OF EFFICIENT SYSTEMS OF DEDUSTING VENTILATION WITH AIR RECIRCULATION

Крюков И. В., Крюкова О. С.,
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г.
Шухова, г. Белгород, iliya.krukov@yandex.ru

Kryukov I. V., Kryukova O. S.
Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov, Belgorod

Аннотация: В работе исследован процесс рециркуляции воздуха в системах местной обеспыливающей вентиляции. Рассчитана эффективность используемых конструктивных решений. Полученные результаты говорят о целесообразности использования систем рециркуляции.

Abstract: The process of air recirculation was researched in system of dedusting ventilation. Calculated efficiency of the used constructive solutions. These results suggest the feasibility of using recycling systems.

Ключевые слова: аспирационное укрытие; рециркуляция; байпасирование.
Keywords: ventilation shelter; recycling; bypassing.

Основной проблемой на большинстве предприятий является образование пыли в ходе технологических операций. Наиболее интенсивными источниками пылеобразования являются перегрузки материала по закрытым желобам с конвейера на конвейер, загрузка оборудования или емкостей материалом, выгрузка из оборудования [1-2]. Для локализации мест пылевыделения